

Potensi *Clean Development Mechanism* pada Pembangkit Mikrohidro 120 KW

¹Didik Eko Budi Santoso, ²Gunawan, M. ³Subchan,

Magister Teknik Elektro

Universitas Islam Sultan Agung

didikekobudisantoso@yahoo.com, gunawan@unissula.ac.id

Abstrak

Sebagai sumber energi, potensi Tenaga Mikro Hidro pada daerah terpencil merupakan hal yg paling realistis sebagai energy primer bagi pembangkitan tenaga listrik. Dalam perkembangannya potensi ini menjadi energy alternatif bagi daerah yg berkembang untuk diversifikasi suplai listriknya. Isu pemanasan global yang mendorong penggunaan energy terbarukan sebagai upaya mencegah lajunya kerusakan alam ditindaklanjuti pada kesepakatan global dalam Protokol Kyoto. Salah satu program dalam pengurangan emisi gas buang adalah Clean Development Mecanism (CDM). Melalui konsep ini semua aktifitas penggunaan energy dapat diukur dan dihitung potensinya kaitannya dengan emisi gas buang, dimana umumnya penggunaan energy dalam pembangkitan energy listrik di Indonesia umumnya masih tergantung tinggi dengan energy fosil.

Pengukuran potensi CDM dimulai dengan pendefinisian instrument yang akan digunakan. Dalam PLTMH ini output daya adalah nilai tetap yg dipakai sebagai referensi yang akan diukur dampaknya bila dibangkitkan dengan pemanfaatan energy fosil. Ukuran ini adalah pendekatan yang menunjukkan berapa potensi emisi gas rumah kaca yang bisa dicegah bila kebutuhan daya listrik disuplai oleh pembangkit berbasis renewable energy.

Menggunakan panduan penyusunan proyek CDM di Indonesia, kajian ini mengambil sampel di PLTMH Cinta Mekar kabupaten Subang ditunjukan bahwa lokasi ini layak diajukan sebagai proyek CDM skala kecil. Dengan klasifikasi bidang energi dengan menggunakan potensi energi terbarukan, PLTMH ini mampu menghasilkan energi listrik sebesar 120 KW. Potensi CDM yang terhitung adalah terjadinya pengurangan tingkat konsumsi energi fosil sebesar 1,5 ton per hari. Disamping itu ekuivalensi penggunaan bakar fosil sebesar potensi energy listrik juga berpotensi mengurangi pencemaran lingkungan sebesar 1474,2 ton/tahun CO₂.

Kata kunci : CDM, PLTMH, Energi, Pencemaran

1. Pendahuluan

Energi listrik telah menjadi kebutuhan pokok dan memainkan peranan penting dalam kehidupan manusia. Namun demikian saat ini hanya 53% dari jumlah total penduduk Indonesia yang mempunyai akses pada jaringan tenaga listrik yang telah ada. Sementara 47% penduduk Indonesia hidup di daerah yang tidak terjangkau jaringan listrik, karena keterbatasan infrastruktur dan kapasitas pembangkit listrik yang tersedia.

Untuk memenuhi kebutuhan tenaga listrik 53% penduduk, pasokan utama dihasilkan oleh pembangkit-pembangkit yang mengkonversikan bahan bakar fosil/BBM menjadi tenaga listrik, seperti pembangkit listrik tenaga diesel (PLTD) dan batu bara. Masalah yang akan dihadapi dalam penyediaan tenaga listrik yang menggunakan bahan bakar fosil, adalah aspek lingkungan (polusi) dan keterbatasan sumber daya alam.

Untuk mencukupi kebutuhan pasokan listrik dan mendorong kegiatan ekonomi

daerah, maka sesuai dengan Peraturan Pemerintah Nomor 3 Tahun 2005 tentang Perubahan atas Peraturan Pemerintah Nomor 10 Tahun 1989, tentang Penyediaan dan Pemanfaatan Tenaga Listrik, penyediaan tenaga listrik dilakukan dengan memanfaatkan seoptimal mungkin sumber energi dan pemanfaatan energi terbarukan. Dalam rangka diversifikasi energi dan pemanfaatan energi terbarukan tersebut, pasokan tenaga listrik pada Tahun 2020 menggunakan minimal 5% berasal dari energi terbarukan.

Pemilihan sumber energi alternatif yang ramah lingkungan yang tak menimbulkan polusi seperti panas bumi, tenaga surya, tenaga angin, biomassa, biogas dan tenaga air merupakan hal yang harus selalu dipertimbangkan mulai saat ini.

Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH) bagi kebanyakan pihak masih dianggap sesuatu yang tidak menguntungkan. PLTMH merupakan salah satu pembangkit listrik yang cukup unik karena meskipun dalam

skala kecil tetapi memiliki banyak kelebihan, yaitu : (1) Energi yang tersedia tidak akan habis selagi siklus dapat dijaga dengan baik, seperti daerah tangkapan atau *catchment area*, vegetasi sungai dan sebagainya; (2) Proses yang dilakukan mudah dan murah; (3) Tidak menimbulkan polutan yang berbahaya; (4) Dapat diproduksi di Indonesia, sehingga jika terjadi kerusakan tidak akan sulit untuk mendapatkan *sparepart*; (5) jika menerapkan mikrohidro sebagai pembangkit listrik secara tidak langsung kita dituntut untuk mengelola dan menata lingkungan agar tetap seimbang, sehingga sudah barang tentu tidak akan menimbulkan kerusakan lingkungan seperti banjir, tanah longsor atau erosi. Dan pada gilirannya ekosistem sungai atau daerah tangkapan akan tetap terjaga, dengan cara ini pula pemanasan global dapat lebih teredam; (6) Mengurangi tingkat konsumsi energi fosil, langkah ini akan berperan dalam mengendalikan laju harga minyak di pasar Internasional (Basuki, 2007).

2. Tinjauan Pustaka

2.1 Pembangkit Listrik Tenaga Mikrohidro (PLTMH)

Pemanfaat air untuk menghasilkan energi listrik dengan menggunakan kincir dan generator disebut dengan istilah Mikrohidro. Energi *output* yang dihasilkan kurang dari 500 KW. Ada pula istilah Minihidro jika energi outputnya 500 KW - 1 MW (lebih besar dari Mikrohidro). Sedangkan kalau energi outputnya lebih dari 1 MW maka sudah disebut PLTA (Pembangkit Listrik Tenaga Air).

Proses konversi energi Mikrohidro adalah dari energi potensial hidrolik-energi, kinetik-energi, mekanik-listrik. Pembangkit ini menyalurkan energi aliran air yang dijatuhkan dari ketinggian tertentu menggunakan kincir yang kemudian diubah menjadi listrik oleh generator. Air dari sungai diairkan melalui saluran pengambilan (*intake*) yang disaring dari sampah-sampah bawaan. Air diendapkan di bak penenang (*forebay*) dengan tujuan mengendapkan tanah yang terbawa air. Air kemudian dialirkan melalui pipa pesat (penstock) untuk dibawa (dijatuhkan) ke arah kincir. Penstock ini juga berfungsi untuk menjaga agar energi dalam aliran air tidak

terbuang. Energi dalam aliran air yang telah berpindah dalam putaran kincir kemudian diubah oleh generator menjadi listrik. Output listrik yang dihasilkan diatur oleh panel kontrol sehingga listrik dapat disimpan dan dialirkan ke jaringan yang terhubung. Peralatan mekanik dan elektrik disimpan dalam suatu rumah pembangkit (*power house*).

Sebuah skema hidro memerlukan dua hal yaitu debit air dan ketinggian jatuh (biasa disebut '*head*') untuk menghasilkan tenaga yang bermanfaat. Ini adalah sebuah sistem konversi tenaga, menyerap tenaga dari bentuk ketinggian dan aliran, serta menyalurkan tenaga dalam bentuk daya listrik atau daya gagang mekanik. Tidak ada sistem konversi daya yang dapat mengirim sebanyak yang diserap dikurangi sebagian daya hilang oleh sistem itu sendiri dalam bentuk gesekan, panas, suara dan lain sebagainya.

Dalam bentuk persamaan matematis, daya yang dapat dimanfaatkan dari aliran yaitu :

$$P_s = \rho g Q H$$

P_s : daya sumber (W)

ρ : kerapatan massa air (kg/m^3)

g : percepatan gravitasi (m/dt^2)

Q : debit aliran (m^3/dt)

H : tinggi terjun (m)

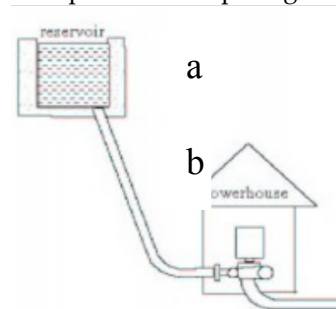
Potensi listrik tenaga mikrohidro dinyatakan dengan daya hasil :

$$P_h = h_t P_s$$

P_h : daya hasil (W)

h_t : efisiensi total PLTMH (%)

Skema sederhana pembangunan sebuah PLTMH dapat dilihat seperti gambar 5 berikut :



Gambar 1 . Skema pembangunan PLTMH

Keterangan gambar :

a : reservoir atau bak penenang

b : penstock

c : rumah turbin atau pembangkit

Persamaan energi dalam sebuah aliran tertutup di berikan dalam bentuk persamaan Bernouilly :

$$H_1 = h_1 + \frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g}$$

dimana :

H_1 : total energi γ : berat jenis air
 h_1 : head V_1 : kecepatan aliran
 P_1 : tekanan g : gravitasi
 (Esha, 2004).

2.2 Bahan Bakar Fosil

Bahan bakar fosil atau bahan bakar mineral merupakan bahan bakar dengan kandungan berupa hidrokarbon yang ditemukan pada lapisan kulit bumi paling dalam (Irene, 2007). Bahan bakar fosil ini terdiri dari bahan material yang mudah menguap dengan kandungan karbon rendah seperti metana. Sampai bahan material yang tidak mudah menguap yang murni berisikan kandungan karbon seperti batu bara.

Dampak lingkungan pembangkit listrik berbahan bakar fosil, antara lain sbb: :

1) Dampak terhadap Sumber Daya Alam (SDA)

Dengan meningkatnya kebutuhan energi listrik maka akan dibutuhkan pembangunan pembangkit yang lebih banyak sehingga akan berakibat pada eksploitasi sumber daya alam yang semakin meningkat. Hal ini akan berdampak pada menurunnya cadangan sumber daya alam yang ada. Sumber daya energi khususnya yang tidak terbarukan seperti minyak, gas, batubara (energi fosil) semakin lama akan terus berkurang sesuai dengan pemakaian yang terus meningkat. Hal ini akan menimbulkan krisis energi di kemudian hari khususnya untuk generasi yang akan datang (Harjanto, 2007).

2) Dampak terhadap lingkungan

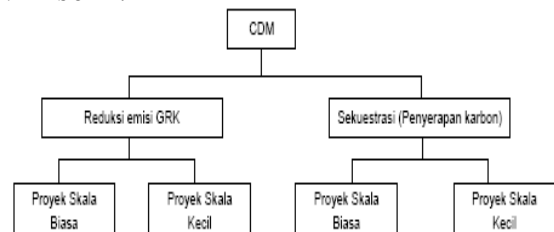
Gas CO₂ (Karbondioksida) : Limbah gas CO₂ yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik berbahan bakar fosil adalah gas CO₂ yang merupakan salah satu golongan gas rumah kaca. Efek gas rumah kaca ini akan menyebabkan radiasi sinar inframerah dari bumi akan kembali ke permukaan bumi karena tertahan oleh gas rumah kaca. Hal inilah yang menyebabkan terjadinya pemanasan global di bumi. Gas SO₂ dan NO_x : gas sulfur oksida (SO₂)

dan nitrogen oksida (NO_x) adalah termasuk limbah gas yang dihasilkan dari pembangkit listrik tenaga fosil. Dua jenis limbah gas ini merupakan sumber deposisi asam. Dampak dari deposisi asam ini sangat luas yakni terhadap makhluk hidup, vegetasi dan struktur bangunan, contohnya terhadap makhluk hidup adalah punahnya beberapa jenis ikan, mengganggu siklus makanan, mengganggu pemanfaatan air untuk pertanian, air minum dan perikanan, serta menimbulkan masalah pada kesehatan pernafasan dan iritasi kulit. Sedangkan pada vegetasi dapat berpengaruh pada perubahan keseimbangan nutrisi dalam tanah, mengganggu pertumbuhan tanaman dan merusak tanaman. Pada bangunan, deposisi asam dapat melarutkan kalsium karbonat pada beton dan marmer, mempercepat korosi pada pipa saluran air (Harjanto, 2007).

2.3 Clean Development Mechanism (CDM)

Adanya komitmen dunia yang dituangkan dalam Protokol Kyoto untuk mengurangi emisi gas rumah kaca (GRK) yang dibebankan kepada negara maju yang tercantum dalam annex 1, dan kewajiban negara maju tersebut dapat dilaksanakan di negara berkembang yang tercantum dalam non annex 1 dalam bentuk program CDM. Negara annex 1 memberikan insentif kepada negara non annex 1 dalam bentuk CER (*Certified Emission Reduction*) yang diperdagangkan (*Carbon Trading*).

Protokol Kyoto adalah sebuah instrumen hukum yang dirancang untuk mengimplementasikan konversi perubahan iklim yang bertujuan untuk menstabilkan konsentrasi GRK agar tidak mengganggu sistem iklim bumi.

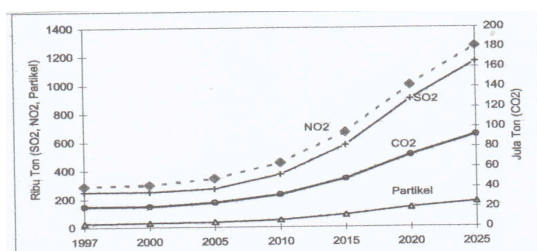


Gambar 2. Skema CDM

Protokol Kyoto membagi anggotanya ke dalam 2 (dua) golongan yaitu Negara Annex I, yang merupakan negara industri maju dan Negara Non-Annex I yang merupakan negara

berkembang. Negara Annex I wajib mengurangi emisi karbon secara bertahap. Negara Non-Annex I tidak wajib melakukan hal ini, tetapi dapat berpartisipasi secara sukarela untuk ikut mengurangi emisi karbon di dunia. Negara Annex I dapat mengurangi emisi karbonnya dengan berbagai cara termasuk membeli sertifikasi pengurangan karbon dari pasar karbon yang dibagi menjadi 3 jenis pasar yaitu: 1) Carbon Trading (CT), 2) Joint Implementation (JI), dan 3) Clean Development Mechanism (CDM)¹.

Secara sederhana, laju emisi gas rumah kaca yang dihasilkan, bisa diturunkan dengan cara membeli kredit karbon atau membayar proyek yang mengurangi, menetralkan atau menyerap emisi gas rumah kaca, melalui lembaran sertifikat semacam surat berharga yang beredar di pasar karbon. Karbon di sini merujuk kepada enam gas rumah kaca yang dianggap mempunyai peran besar dalam pemanasan global, yaitu karbondioksida (CO₂), metana (CH₄), nitrogen oksida (NO_x), hidrofluorokarbon (HFCs), perfluorokarbon (PFCs), dan sulfur hexafluorida (SF₆).



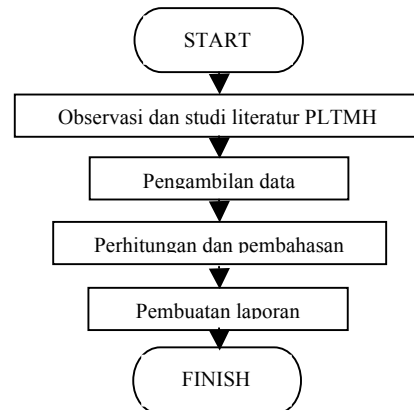
Gambar 3. Emisi Pembangkit Listrik di Indonesia

CT adalah sistem transaksi yang mengizinkan negara Annex I untuk saling membeli atau menjual kredit karbon untuk memenuhi kewajibannya. Joint Implementation (JI) mengizinkan negara Annex I untuk memperoleh kredit karbon melalui proyek-proyek yang menurunkan emisi gas rumah kaca bersama dengan negara Annex I lainnya. CDM sendiri adalah transaksi berdasarkan proyek yang dilakukan negara Annex I di negara miskin/berkembang. Setiap upaya penurunan emisi yang setara dengan satu ton karbon akan dinilai dengan satu Certified Emissions Reductions (CER). Sertifikat ini dapat dijual

dalam pasar primary CDM maupun dijual kembali dalam pasar secondary CDM.

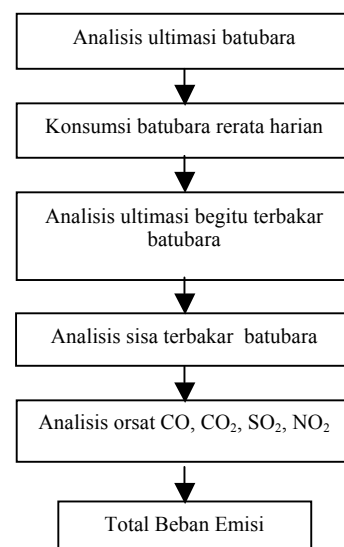
3. Metode Penelitian

Bahan penelitian ini merupakan data primer yaitu PLTMH Cinta Mekar yang digunakan sebagai objek pembandingan.



Gambar 4 . Flowchart penelitian

Pembahasan makalah ini dilakukan dengan menggunakan metode sebagai berikut : kajian terhadap literatur, pengambilan data sekunder (data-data hasil penelitian yang sudah ada), dan diskusi/konsultasi dengan pembimbing yang sudah ahli dalam bidangnya.



Gambar 5. Flowchart perhitungan beban emisi pembakaran batubara

4. Potensi CDM proyek PLTMH

Sumber utama emisi GRK di sector energi listrik adalah pembakaran bahan bakar minyak dalam proses produksinya ini berbeda

dengan Pembangkit Listrik Tenaga Mikro Hidro yang membangkitkan energi listrik kurang dari 1 MW dapat dikategorikan sebagai pembangkit yang ramah lingkungan karena tidak menyebabkan dampak terhadap lingkungan dan social.

Telah diketahui bahwa pengurangan emisi dari pembakaran gas dan produksi batu bara serta penggunaan energi terbarukan merupakan proyek yang potensial untuk CDM.

PLTMH yang menggunakan turbin air skala kecil tidak menggunakan bahan bakar minyak dalam proses produksi energinya sehingga tidak menimbulkan emisi.

5. Hasil dan Pembahasan

PLTMH Cinta Mekar yang beroperasi menggunakan sumber daya air juga berpotensi mengurangi efek pencemaran lingkungan yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar fosil, sebagai pembandingan pengoperasian pembangkit sebesar 120 kW dengan menggunakan batubara HHV 30.200, maka didapatkan pencemaran sebesar :

$$\Sigma \text{ total instalasi } 40\% = \frac{30.200 \frac{\text{kg}}{\text{kg}} (0,4536 \frac{\text{kg}}{\text{lbm}})}{1.055 \text{ kJ/Btu}} = 12.985 \text{ BTu/lbm}$$

$$\text{masukannya termal} = \frac{P_g}{\eta_{th}} = \frac{120}{0,4} = 300 \text{ kw/th}$$

$$= \frac{300 (3.413 \text{ Btu/kw jam})}{12.985}$$

$$\begin{aligned} \text{Pemakaian batubara} &= \frac{300 (3.413 \text{ Btu/kw jam})}{12.985 \text{ Btu/lbm} (2000 \text{ lbm/ton})} \\ &= \frac{1.023.900}{25.920.000} = 394 \text{ kg/jam} \\ &= 1475,13 \text{ kg/hari} = 1,5 \text{ ton/hari} \end{aligned}$$

Analisis ultimasi batubara seperti yang terlihat pada lampiran C :

12% M, 10% A, 81,3% C, 5,3% H₂, 9,8% O₂, 1,7% N₂, 1,9% S. (Reff: Archie, 1996)

Faktor perkalian untuk analisis begitu terbakar (I-M-A) = 1 - 12% - 10%
= 1 - 0,12 - 0,10 = 0,78

Analisis ultimasi begitu terbakar :

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_{th,md} &= \frac{2,66 C + 7,94 H_2 + 0,998 S - O_2}{0,232} \\ &= \frac{(2,66 (0,813) + 7,94 (0,53) + 0,9985 (0,19) - 0,98}{0,232} \\ &= 24,004 \text{ kg udara/kg batubara} \end{aligned}$$

Perbandingan antara udara dan bahan bakar aktif :

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{act,md} = \left[\frac{\% N_2}{\% CO + \% CO_2} (2,332)(b - N_f) \right] / 0,768$$

% N₂ yang ada di dalam gas buang

$$= 100 - (\% CO_2 + \% O_2 + \% CO)$$

$$= 100 - (14,91 + 3,67 + 0,15)$$

$$= 81,27\%$$

Keterangan :

% CO₂; % O₂; dan % CO didapat dari analisis orsat terhadap gas buang (14,91% CO₂; 3,67% O₂; 0,15% CO)

Analisis sisa =

$$\frac{Cr}{R} = \frac{581}{32.778} = 0,0177 \text{ kg (dm sisa / kg sisa)}$$

dimana : Cr = Analisis bongkah sisa

R = Faktor konversi (32.778)

$$\left(\frac{A}{R}\right)_R = 1,0 - \frac{Cr}{R} = 1,0 - 0,0177 = 0,9823 \text{ kg abu/kg sisa}$$

$$R = \frac{A}{(A/R)_R} = \frac{0,1}{0,9823} = 0,1018 \text{ kg sisa/kg batubara}$$

$$Cr = R - A = 0,1018 - 0,10 = 0,0018 \text{ kg C tak terbakar/kg batubara}$$

$$Cb = C - Cr = 0,6178 - 0,0018 = 0,6160 \text{ kg C terbakar/kg batubara}$$

Keterangan : A = 10%

$$C = 61,78\%$$

Sehingga ;

$$\begin{aligned} \left(\frac{A}{F}\right)_{act,md} &= \left[\left\{ \frac{\% N_2}{\% CO + \% CO_2} (2,332) Cb \right\} - N_f \right] / 0,768 \\ &= \left[\left\{ \frac{81,27}{0,15 + 14,91} (2,332)(0,6160) \right\} - 0,0101 \right] / 0,768 \end{aligned}$$

Keterangan :

% N₂ = dari % N₂ dalam gas buang

% CO = dari % CO₂ dari analisis orsat

Cb = dari kg C terbakar/kg batubara

Nf = dari fraksi masa nitrogen dalam bahan bakar dari analisis ultimasi (pada tabel C N₂ = 0,0101)

$$\left(\frac{A}{F}\right)_{act,md} = 10,081 \text{ kg udara/kg batubara}$$

Koefisien pengenceran = DC

$$\frac{(A/F)_{act}}{(A/F)_{th}} = \frac{10,081}{24,004} = 0,4199$$

Mol produk gas buang per kg batubara yang terbakar :

Mol CO/kg batubara = x

Mol CO₂/kg batubara

$$= \frac{Cb}{12,01} - x = \frac{0,6160}{12,01} - x$$

$$= 0,05129 - x$$

Mol O₂/kg batubara

$$= \frac{(Dc-1) \left(\frac{A}{F}\right)_{th.md} (0,232)}{32} + \frac{x}{2}$$

$$= 0,0017111 + 0,5 x$$

$$\text{Mol N}_2/\text{kg batubara} = \frac{\left(\frac{A}{F}\right)_{act.md} \cdot 0,768 + Nf}{28,016}$$

$$= \frac{10,081 \times 0,768 + 0,0101}{28,016} = 0,277$$

$$\begin{aligned} \text{Mol gas buang kering} \\ = \text{mol CO} + \text{mol CO}_2 + \text{mol O}_2 + \text{mol N}_2 \\ = x + (0,05129 - x) + (0,007111 + 0,5 x) + 0,277 \\ = 0,33540 + \frac{x}{2} \end{aligned}$$

Dari analisis orsat CO, diperoleh :

$$0,005 = \frac{x}{\text{mol gas buang kering}} = \frac{x}{0,33540 + 0,5x}$$

$$x = 0,005 (0,33540 + 0,5x)$$

$$x = 0,005 \cdot 0,33540 + 0,005 \cdot 0,5x$$

$$x = 0,005 \cdot 0,5x = 0,005 \cdot 0,33540$$

$$x = 0,001677 \text{ mol CO/kg batubara}$$

Sehingga mol gas buang kering/kg batubara adalah :

$$= 0,33540 + \frac{x}{2}$$

$$= 0,33540 + \frac{0,001677}{2} = 0,3362$$

Sehingga % CO₂

$$= \frac{0,05129 - x}{\text{mol gas buang}} = \frac{0,05129 - 0,001677}{0,3362}$$

$$= 0,147566 = 14,7 \%$$

Karena batubara yang terbakar adalah

$$= 14,7\% \times 1,5 \text{ ton/hari}$$

$$= 0,22 \text{ ton/hari} = 79,2 \text{ ton/tahun}$$

Dari tabel factor Emisi polutan pada pembakaran batubara didapat data:

NO₂ = 20 lb/ ton kebutuhan batu bara

SO₂ = 30, 4 lb/ ton kebutuhan batu bara

Sehingga besarnya emisi polutan :

$$\begin{aligned} \text{NO}_2 &= 20 \text{ lb/ ton} \times \text{kebutuhan batu bara} \\ &= 20 \text{ lb/ ton} \times 1,5 \text{ ton / hari} \\ &= 30 \text{ lb / hari} \times 0,4536 \text{ kg} = 13,608 \text{ kg/} \end{aligned}$$

hari

$$= 4,5 \text{ ton/tahun}$$

SO₂ = 30,4 lb/ ton x kebutuhan batu bara

$$= 30,4 \text{ lb/ ton} \times 1,5 \text{ ton / hari}$$

$$= 45,6 \text{ lb / hari} \times 0,4536 \text{ kg} = 20,684$$

kg/hari

$$= 7,4 \text{ ton/tahun}$$

Dari data perhitungan diatas tampak limbah yang dihasilkan dari suatu pembangkit listrik fosil adalah CO₂ sebesar 79,2 ton/tahun, NO₂ sebesar 4,5 ton/tahun atau setara dengan 4,5 x 310 = 1395 ton/tahun CO₂, serta 7,4 ton/tahun SO₂. Berbeda dengan PLTMH yang menggunakan air sebagai energi penggeraknya sama sekali tidak mengeluarkan limbah yang dapat merugikan.

KESIMPULAN

1. PLTMH Cinta Mekar yang beroperasi menggunakan energi air sebagai penggeraknya telah membantu pemerintah dalam pemenuhan energi nasional sepanjang masa selama siklus air terjaga.
2. Mengurangi tingkat konsumsi energi fosil, karena masukan energi primer berupa aliran massa air sehingga dapat dikembangkan proyek CDM (*Clean Mechanism Development*) bidang energi, karena PLTMH menggunakan potensi energi terbarukan yang tidak mencemari lingkungan.
3. Mengalihkan beban PLTU 120 Kw yang dampak pencemaran lingkungannya adalah CO₂ sebesar 79,2 ton/tahun, NO₂ sebesar 4,5 ton/tahun atau setara dengan 4,5 x 310 = 1395 ton/tahun CO₂, serta 7,4 ton/tahun SO₂.

DAFTAR PUSTAKA

Anonim, 2005, *Panduan Kegiatan MPB di Indonesia*, Kementrian Lingkungan Hidup, Jepang

Archie W. Culp, Jr., Ph.D, 1979, *Principles Of Energy Conversion*, McGraw-Hill, London.

Daniel Murdiyarso, 2007, *CDM : Mekanisme Pembangunan Bersih*, Kompas, Jakarta.

Daniel Murdiyarso, 2007, *Protokol Kyoto Implikasinya bagi Negara Berkembang*, Kompas, Jakarta

Harjanto, 2008, *Dampak Lingkungan Pusat Listrik Tenaga Fosil dan Prospek PLTN sebagai Sumber*

Energi Listrik Nasional, ISSN 1979-2409, Pusat Teknologi Bahan Bakar Nuklir, Batan

Robert J. Kodoatie, Ph.D, 2008, *Pengelolaan Sumber Daya Air Terpadu*, Edisi kedua, Penerbit Andi, Yogyakarta.

Subhan, M. *Potensi Clean Development Mechanism Pembangkit Mikrohidro 120 KW di PLTMH Cinta Mekar di Kab. Subang Jawa Barat*, Thesis MTE, Unissula, Semarang

Philip Kristanto. Ir, 2004, *Ekologi Industri*, LPPM Universitas Kristen PETRA, Surabaya, Penerbit Andi, Yogyakarta.